

Natürliche Strahlung

3

- ▶ Strahlung aus der Umwelt, die nicht durch den Einfluss der Menschen entstanden ist
- ▶ Durchschnittlich **2,1 μSv pro Jahr** in Mitteleuropa

1. Kosmische Strahlung (Weltall)
2. Terrestrische Strahlung (\rightarrow **Radon!**
Lungenkrebs!)

MedDoco - Strahlenschutz für die Kerninspektion
17.01.20

Künstliche Strahlenbelastung

- ▶ aus künstlichen Strahlenquellen
- ▶ durchschnittlich 2 μSv pro Jahr

Ursachen:

1. Medizinische Diagnostik und Therapie
2. Technik und Forschung

Abstandsquadratgesetz

5

- ▶ Je größer der Abstand zur Strahlenquelle, desto geringer ist die Strahlenbelastung
- ▶ Strahlendosis nimmt mit dem **Quadrat der Entfernung** zur Strahlenquelle **ab**

MedDoco - Strahlenschutz für die Kerninspektion
17.01.20

Aufgrund der **Divergenz** der Strahlung nimmt die **Dosisleistung pro Fläche** mit zunehmenden **Abstand** von der Strahlenquelle ab (umgekehrt proportional).

D.h.

verdoppelt sich der Abstand, verringert sich die Dosisleistung auf ein Viertel,

verdreifacht sich der Abstand, verringert sich die Dosisleistung auf ein Neuntel u.s.w..



Beispiele zum Abstandquadratgesetz:

6

- ▶ Verdoppelt sich der Abstand
→ verringert sich die Belastung auf $\frac{1}{4}$
- ▶ Verdreifacht sich der Abstand
→ verringert sich die Belastung auf $\frac{1}{9}$
- ▶ Vervierfacht sich der Abstand
→ verringert sich die Belastung auf $\frac{1}{16}$

→ D.h. die Strahlenbelastung **nimmt proportional mit dem Quadrat des Abstandes ab.**

Allgemeine Dosisbegriffe im Strahlenschutz

8

MedDosis - Strahlenschutz für die Kernprüfung
17.01.20

Energiedosis (D):

→ gibt an, wie hoch die aufgenommene Strahlendosis (=Energiedosis) des Körpers ist, denn

→ Folgeschäden hängen von der Energiedosis ab

$$\text{Energiedosis (D)} = \frac{\text{Energie (J)}}{\text{Masse (kg)}} \text{ in Gy (Gray)}$$

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$$



• Äquivalentdosis (D_q)

→ beschreibt die Strahlenbelastung, d.h. die „Gefährlichkeit“ von Strahlen)

- ▶ eine physikalische Größe
- ▶ erfasst die biologische Wirkung radioaktiver Strahlung
- ▶ D = Energiedosis
- ▶ q = Wichtungsfaktor (Wirksamkeit/Gefährlichkeit)
 - ▶ **$D_q = \text{Energiedosis} \times q$**

Effektive Dosis (früher: effektive Äquivalentdosis – Einheit: mSv)

10

MedDoseo - Strahlenschutz für die Kennhinprüfung
17.01.20

- beschreibt die Strahlenempfindlichkeit der unterschiedlichen Gewebe / Organe
- jedes Gewebe / Organe hat seine eigene Strahlenempfindlichkeit (W)
- W ist wichtig für das Risiko von Strahlenschäden

Effektive Dosis (früher: effektive Äquivalentdosis) (mSv)

- ▶ beschreibt **Strahlenempfindlichkeit der verschiedenen Organe**
- ▶ Wird berechnet aus den Faktoren:
 - ▶ Energiedosis, die ein bestimmtes Organ aufgenommen hat
(= **Organdosis**)
 - und
 - ▶ **Strahlenempfindlichkeit (W)** bestimmter Gewebe
- ▶ Effektive Strahlendosis = Strahlendosis x Wichtungsfaktor
Einheit: mSv

11

MedDosis - Strahlenschutz für die Kerninspektion
17.01.20

Ortsdosis

- ▶ beschreibt die Strahlenbelastung/-dosis an einem bestimmten Ort (Bereich)
- ▶ Ortsdosis = Äquivalentdosis für einen bestimmten Ort (Bereich)
- ▶ Einheit: mSv

Ortsdosisleistung

$$\dot{D} = \frac{1}{m} \frac{dQ}{dt} = \frac{1}{m} \frac{d}{dt} \left(\sum_i q_i \right) = \frac{1}{m} \sum_i \frac{dq_i}{dt}$$

► Einheit: Sv / h

Strahlenschutzbereiche

► Definition:

räumlich abgegrenzte Bereiche, in denen die Grenzwerte liegen

► Bereiche des Strahlenschutzes

- Überwachungsbereich
- Kontrollbereich
- Sperrbereich

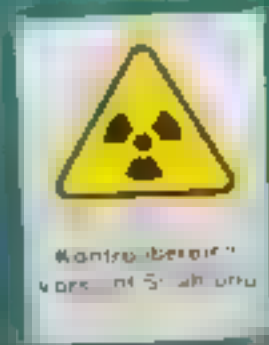
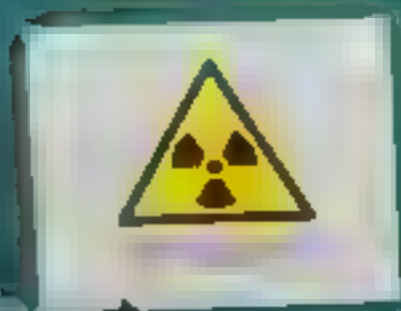


Sinn der Strahlenschutzbereiche

- Bevölkerung, die in der Nähe von Anlagen, die ionisierende Strahlung zu schützen

Merkmale von Strahlenschutzbereichen

- Besondere Schutzmaßnahmen
- Deutliche Kennzeichnung



Personendosis

- Gibt die Höhe der Strahlendosis an, die Menschen im Körper
an (z.B. Mikrodosis, Rad, mSv)
- Dosimeter wird im Körper getragen
- Einheit: Sv



Dosimeter

Gerät zur Messung

der Strahlung im
Körper

Personendosis

Neue Strahlenschutzverordnung (StrSchV):

- Strahlenschutzverordnung

Tatsächliche Strahlenbelastung

► Dosimeter und Bleischürze

18

Organdosis (Teilkörperdosis)

- ▶ Äquivalentdosis: Dosis, die einem Teil eines Organes des Körpers
- ▶ Die Summe aller Äquivalentdosen = Gesamtdosis
- ▶ Einheit: Sv



Wichtige Punkte der neuen StSchV

- 1. Dossierschlagwort
- 2. Stipendien, Projektzuschüsse | WP
Lebenslauf
- 3. Vorkursprogramm
- 4. 31. Dezember 2013

Strahlendosen bei medizinischen Untersuchungen

- ▶ Röntgen Thorax: 0,02 mSv
- ▶ Röntgen Abdomen: 2 mSv
- ▶ CT-Thorax: 9 mSv
- ▶ CT-Abdomen: 12 mSv
- ▶ CT-Abdomen + Pelvis: 13 mSv

Strahlenschutzgesetz (StrSchG)

Strahlenschutzverordnung (StrSchV)

► 3-A-Regel \Rightarrow Abstand, Abschirmung,
Aufenthalt

► Atomgesetz

23

MedDose - Strahlenschutz für die Kerntechnik
17.01.20

Dokumentation und Aufbewahrungsfristen

Der Arzt muss eine detaillierte Dokumentation

- Anamnese, körperliche Untersuchung

- Diagnose, Differentialdiagnose

- Therapie, Verlauf, Prognose

Kontrollbereiche für exponierte Personengruppen

Strahlenexponierte Person Kategorie A:

→ max. 20 μ Sv pro Jahr

Strahlenexponierte Person Kategorie B:

→ max. 6 μ Sv pro Jahr (maximal 150 h pro Jahr)

Schwangere dürfen nicht in Kontrollbereichen arbeiten!

Strahlenschutzbereiche (gesetzlich vorgeschrieben)

26

Spernbereich:

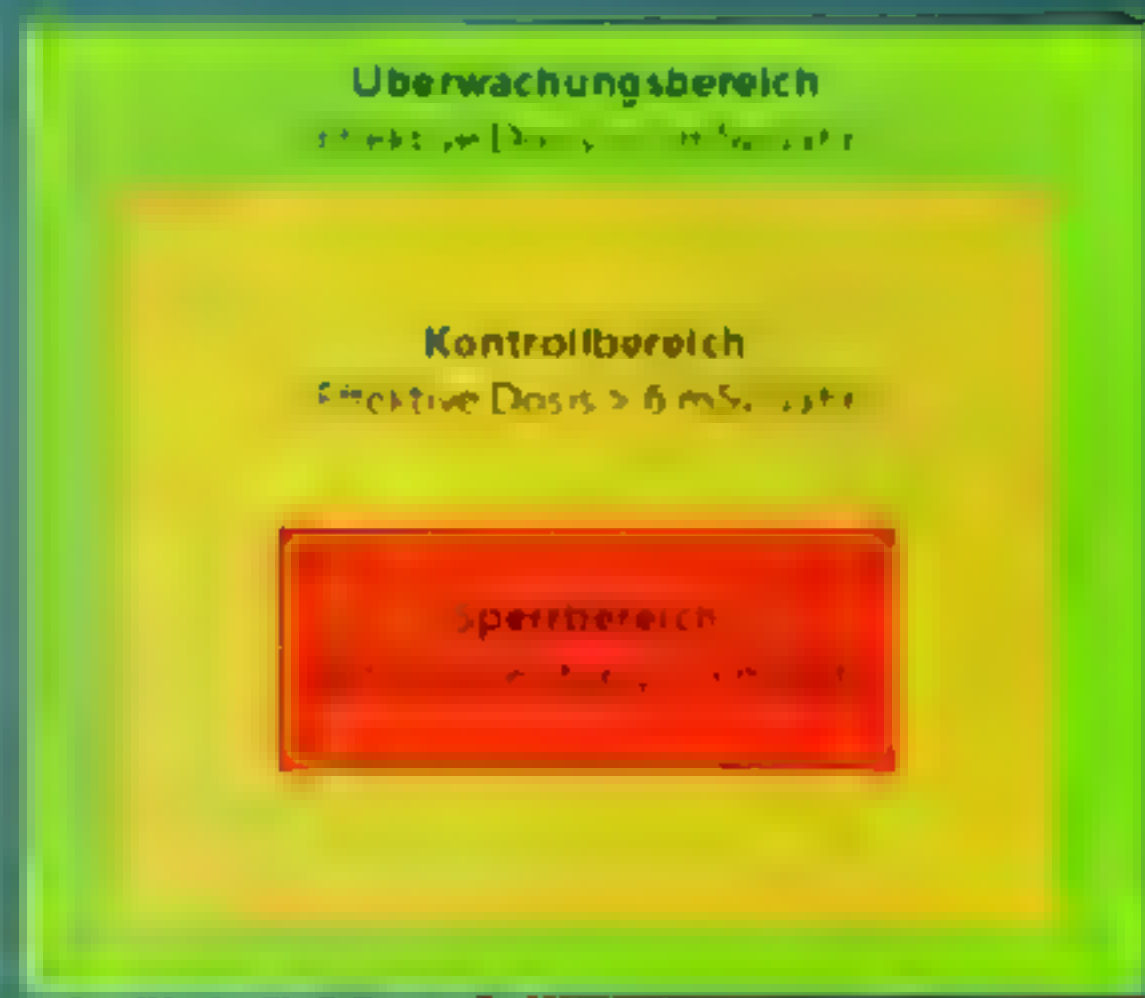
- bis 3 mSv pro Stunde

Kontrollbereich:

- bis 6 mSv pro Jahr

Überwachungsbereich:

- bis 1 mSv pro Jahr



Überwachung und Einhaltung der Ortsdosen sind gesetzlich geregelt !!!

Streustrahlung

27

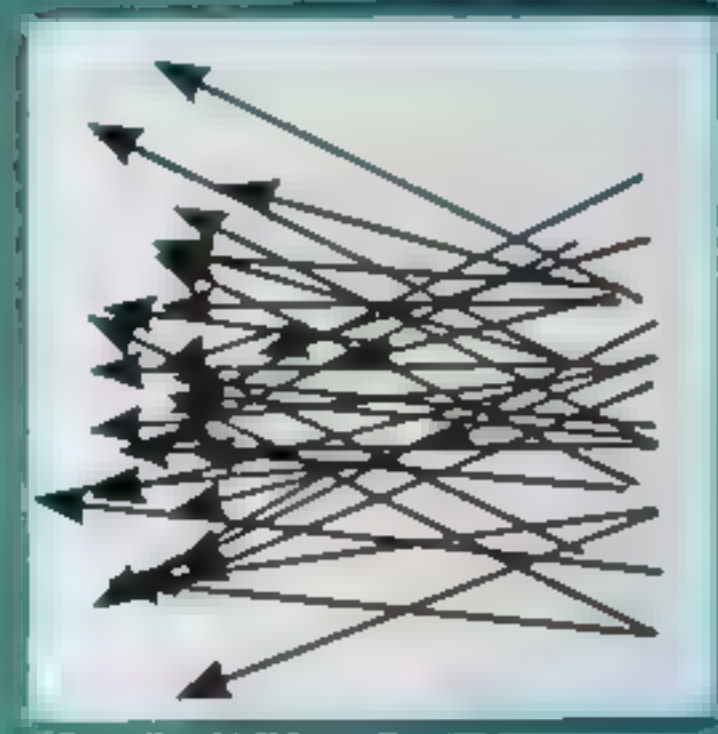
Entstehen durch Streuung an

Röntgenstrahlen an

Objekt

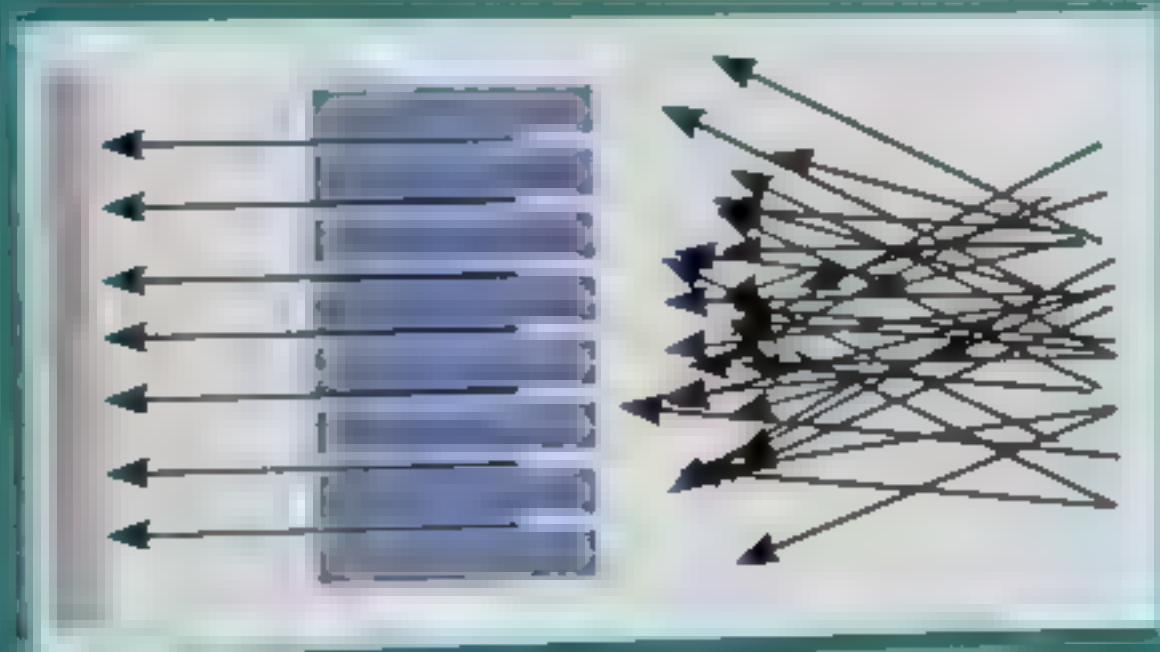
= Strahlen die

Richtung abgelenkt sind



Streustrahlenraster

- technische Vorteile des streustrahligen Strahlens
- zur Reduzierung von Streustrahlung
- wird z.B. bei der Herstellung von Halbleitern eingesetzt



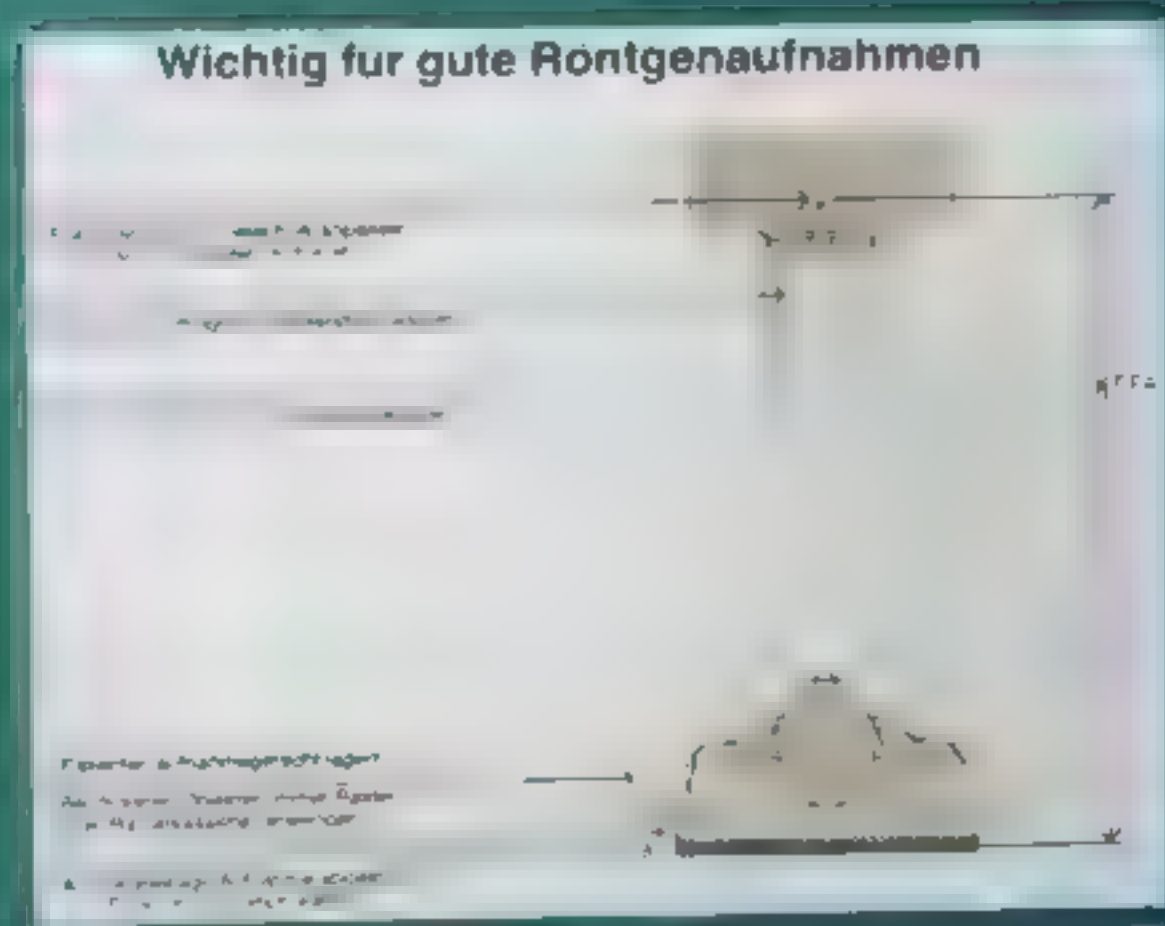
Streustrahlung

Wird verringert durch:

- ▶ Streustrahlenraster
- ▶ Einblendung eines Strahlenkegels

Warum?

- ▶ zum Schutz des medizinischen Personals
- ▶ Für bessere Bildqualität



Überwachung von medizinisch exponiertem Personal

- Dosimeter
- ärztliche Kontrollen
- Strahlenschutzmaßnahmen

12 Regeln zum Schutz der Patienten

- ▶ 1. Strenge Indikationsstellung
- ▶ 2. Kein Über- / Unterangebot
- ▶ 3. Schmerzmanagement
- ▶ 4. • Aufklärung des Patienten
- ▶ 5. • Einverständniserklärung
- ▶ 6. • Dokumentation des Schmerzes
- ▶ 7. • Dokumentation des Schmerzes
- ▶ 8. • Dokumentation des Schmerzes
- ▶ 9. • Dokumentation des Schmerzes
- ▶ 10. • Dokumentation des Schmerzes
- ▶ 11. • Dokumentation des Schmerzes
- ▶ 12. Dokumentation

Strahlenbiologie

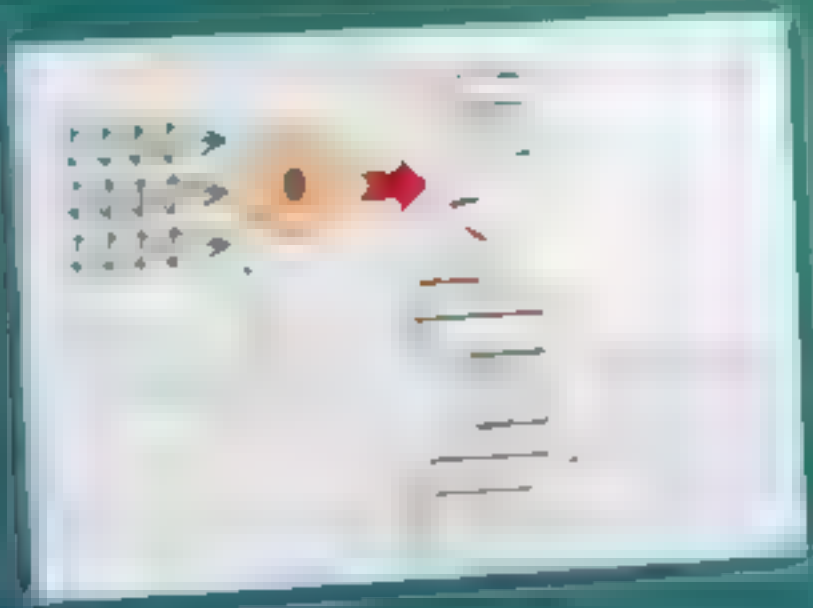
► Zelluläre Antwort auf Bestrahlung:

- DNA-Schädigung
- Zellzyklus-Arrest

Strahlenbiologie

Die Folgen von der DNA

- Einzelstrangbrüche
- Doppelstrangbrüche
- reparable Mehrstrangbrüche



Strahlenbiologie

34

Folgen der DNA-Veränderung:

- ▶ fehlerhafte Reparaturen
- ▶ unvollständige Reparaturen

Folge der Reparaturen:

- ▶ Dauerhafte Veränderungen der Erbinformation
(=Mutation)
- ▶ → maligne Entartung

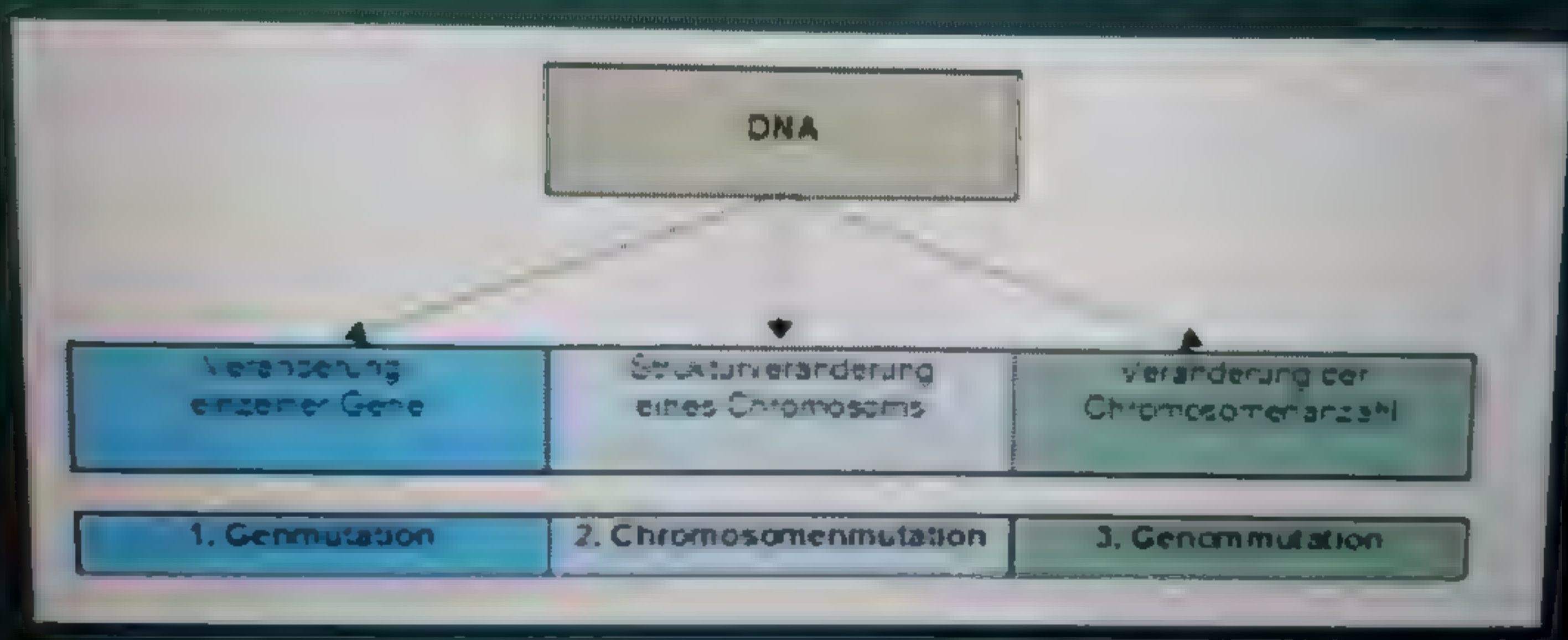


emel.

Veränderungen der Erbinformation

ng

Übung



Proteinveränderungen durch Strahlenbelastung:

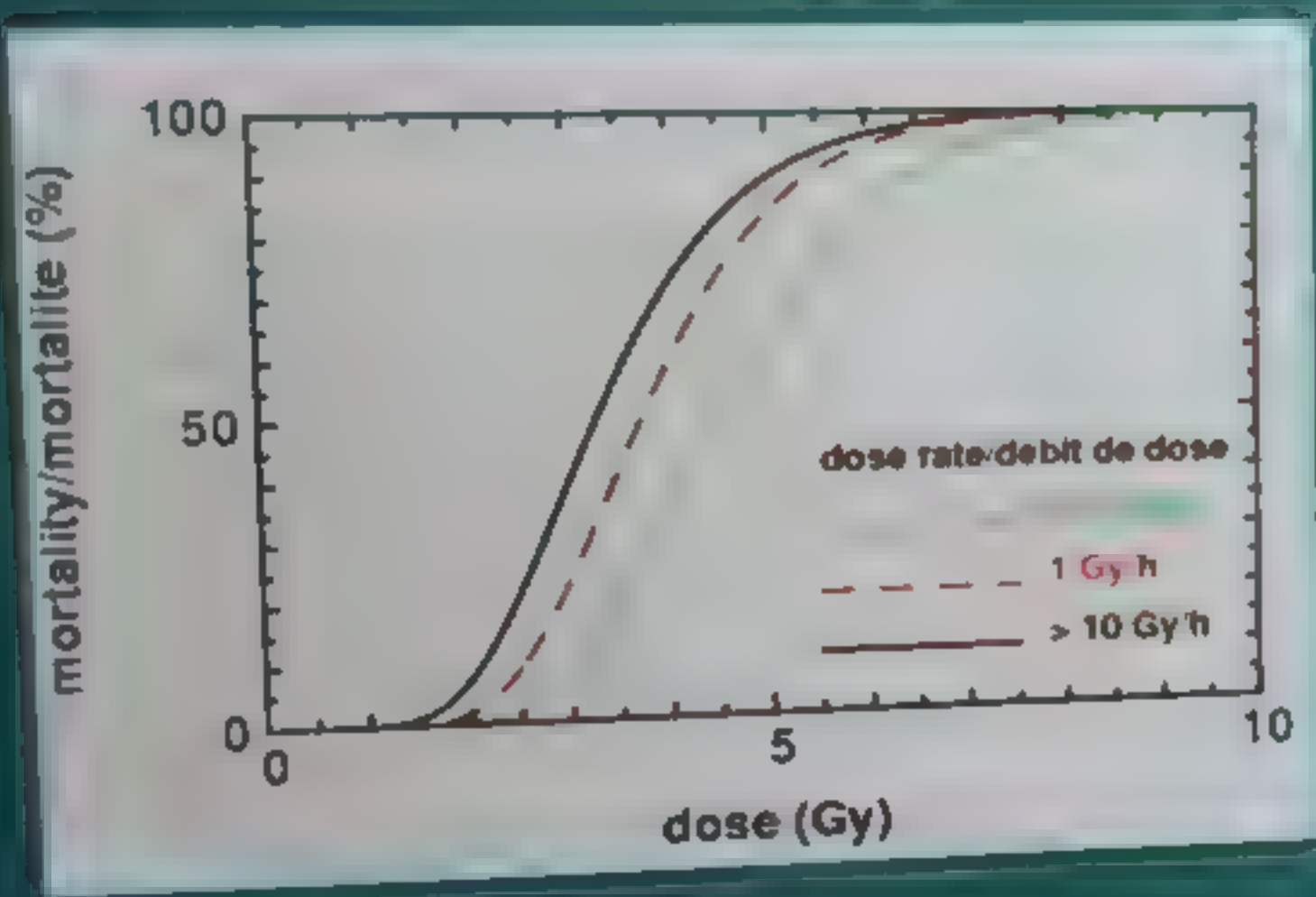
1. Störung der Proteinsynthese
2. Enzymschädigungen

Zelltod als Bestrahlungsfolge

► Mitosetod

→ Verlust der mitotischen Kompetenz

Dosis-Effekt-Kurve



je höher die Dosis-Rate
größer der Effekt!

Medizinische Strahlenphysik 12.08.2017

Strahlenempfindlichkeit

Deterministische und stochastische Effekte

> Stochastische Effekte

- D_{50} - Dosis, die zu einer 50%igen Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines bestimmten stochastischen Effekts führt
- D_{01} - Dosis, die zu einer 1%igen Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines bestimmten stochastischen Effekts führt

Deterministische Strahlenwirkung

➤ Die Strahlendosis ist ein Maß für die Strahlungsenergie, die auf einen Körper einwirkt.

➤ Die Strahlendosis ist ein Maß für die Strahlungsenergie, die auf einen Körper einwirkt.
 $D = \frac{W}{m}$

➤ Die Strahlendosis ist ein Maß für die Strahlungsenergie, die auf einen Körper einwirkt.
Die Strahlendosis ist ein Maß für die Strahlungsenergie, die auf einen Körper einwirkt.

Stochastische Strahlenwirkung

- $\mathcal{R}^n = \{ \omega \in \Omega : \omega = (r_1, \dots, r_n) \}$ \Rightarrow \mathcal{R}^n ist ein σ -Algebra
- $\mathcal{R}^n = \{ \omega \in \Omega : \omega = (r_1, \dots, r_n) \}$ \Rightarrow \mathcal{R}^n ist ein σ -Algebra
- $\mathcal{R}^n = \{ \omega \in \Omega : \omega = (r_1, \dots, r_n) \}$ \Rightarrow \mathcal{R}^n ist ein σ -Algebra

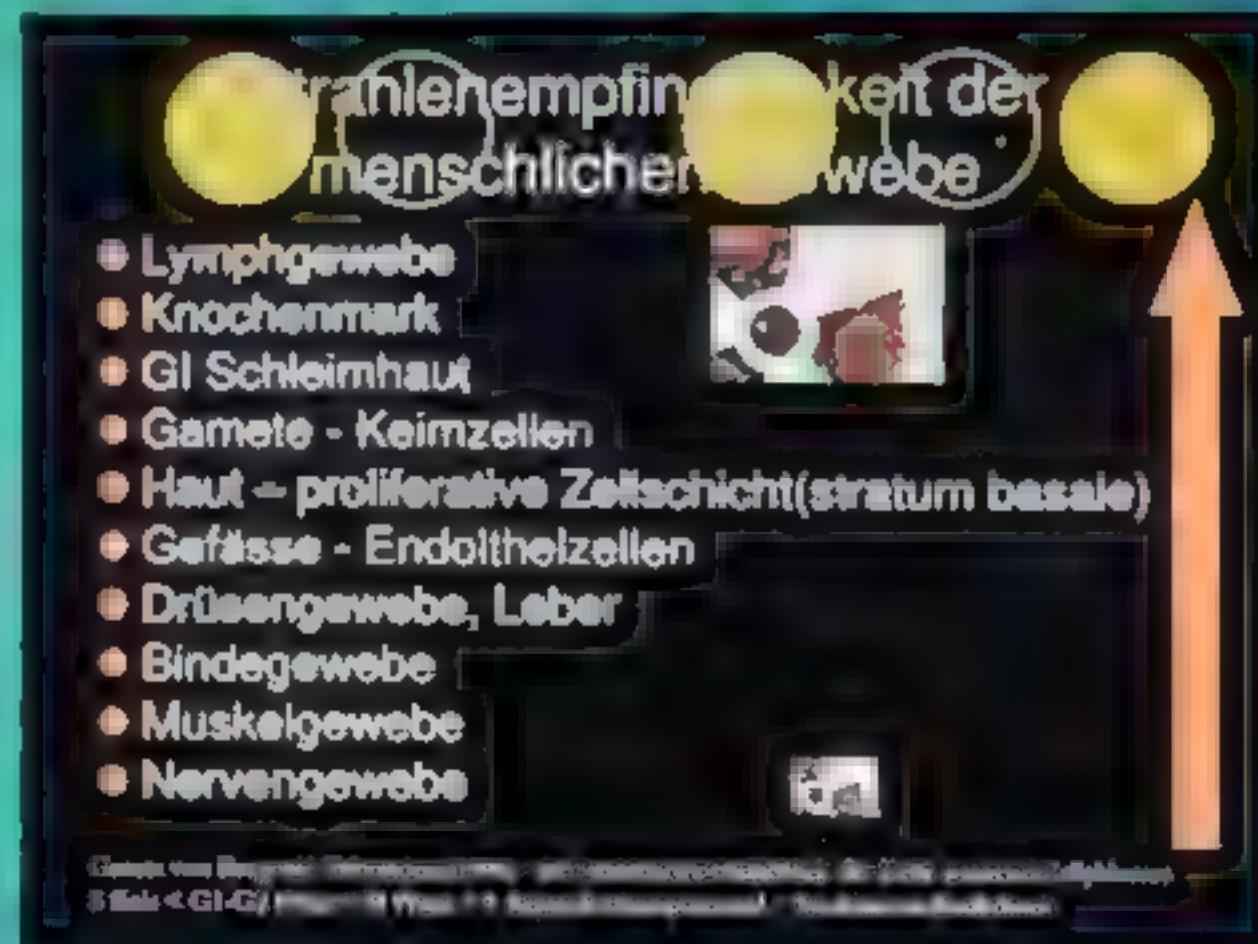
Stochastische Strahlenwirkung

Strahlenempfindlichkeit bestimmter Gewebe

ist abhängig von:

- Zellzyklus
- Sauerstoffversorgung
- Gewebetyp

(je undifferenzierter das Gewebe strahlensensibler die Zelle)



Strahleninduzierte Spätwirkung

► $\frac{1}{1000}$ der Patienten, die eine Strahlentherapie erhalten, entwickeln eine Spätwirkung, die lebensbedrohlich ist.

► $\frac{1}{1000}$ der Patienten, die eine Strahlentherapie erhalten, entwickeln eine Spätwirkung, die lebensbedrohlich ist.

► $\frac{1}{1000}$ der Patienten, die eine Strahlentherapie erhalten, entwickeln eine Spätwirkung, die lebensbedrohlich ist.

Strahlenempfindlichkeit verschiedener Gewebe

42

- ▶ **Hämatopoese:** Stammzellen sind am empfindlichsten
- ▶ **Magen-Darm-Trakt:** Mukosa mit Epithelzellen
- ▶ **Nervensystem:**
 - peripher sehr strahlensensibel
 - ZNS: sehr strahlensensibel (z.B. Myelitis, Enzephalitis)
- ▶ **Auge:** Linse (Kataraktbildung)
- ▶ **Haut:** Radiodermatitis ab 2 Gy
- ▶ **Gonaden:** sehr strahlensensibel (Spermatogenese, Mutationen)
- ▶ **Erbgut:** Keimzellmutation

Medizinische Strahlenphysik für die Kerntechnik (2019)

Tumorinduktion und Kanzerogenese

44

Werden Strahlenschäden nicht repariert, kommt es zu:

- ▶ Unkontrollierter Zellteilung
- ▶ Wachstum
- ▶ Maligner Entartung

Grund:

Aktivierung von Onkogenen durch Mutation!

Tumorinduktion und Kanzerogenese

45

Grund:

Aktivierung von (genetischen) Faktoren

≡ Kanzerogenese

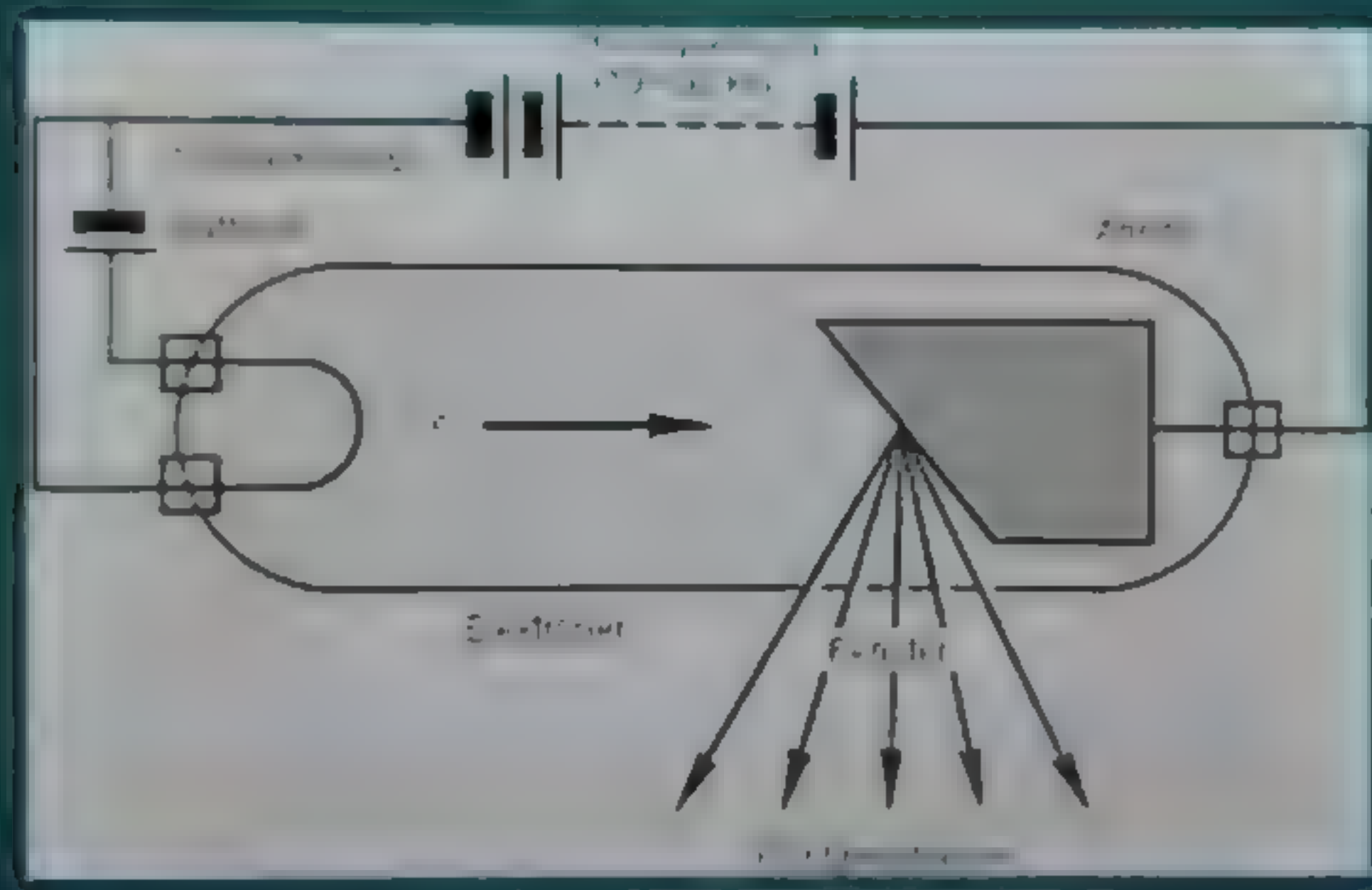
⇒ Risiko für Tumorentstehung steigt mit Dosis

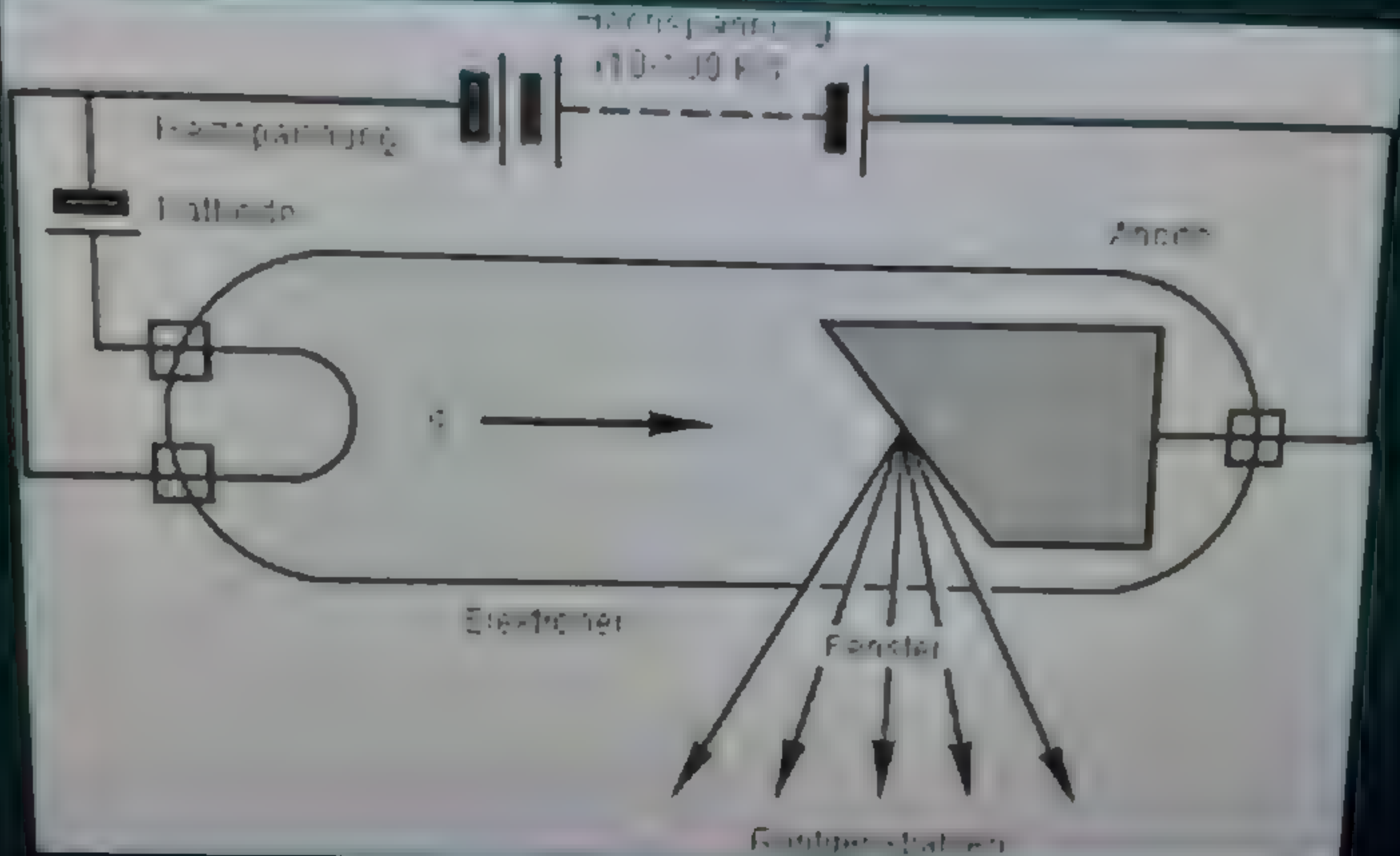
⇒ oft liegen mehrere Faktoren zur Entstehung
und Tumorentstehung

MedDoc: Pharmazeutische Wissenschaft für die Krebsforschung
17.01.20

Röntgendiagnostik

46





Bremsstrahlung

⇒ niederenergetische Strahlenanteile

- ▶ Weiche Strahlen

- ▶ Erzeugen keine Bruchstrahlung

- ▶ Werden am Polarisator nicht gemessen



Bremsstrahlung

⇒ niederenergetische Strahlung

▶ Weiche Strahlen

▶ Erzeugen keine ionisierende Strahlung

▶ Werden von Blei gestoppt



Medizinische Physik - Strahlenschutz der Kernmedizin
12.01.21

Absorption von niederenergetischen Röntgenstrahlen verhindern!

Wie?

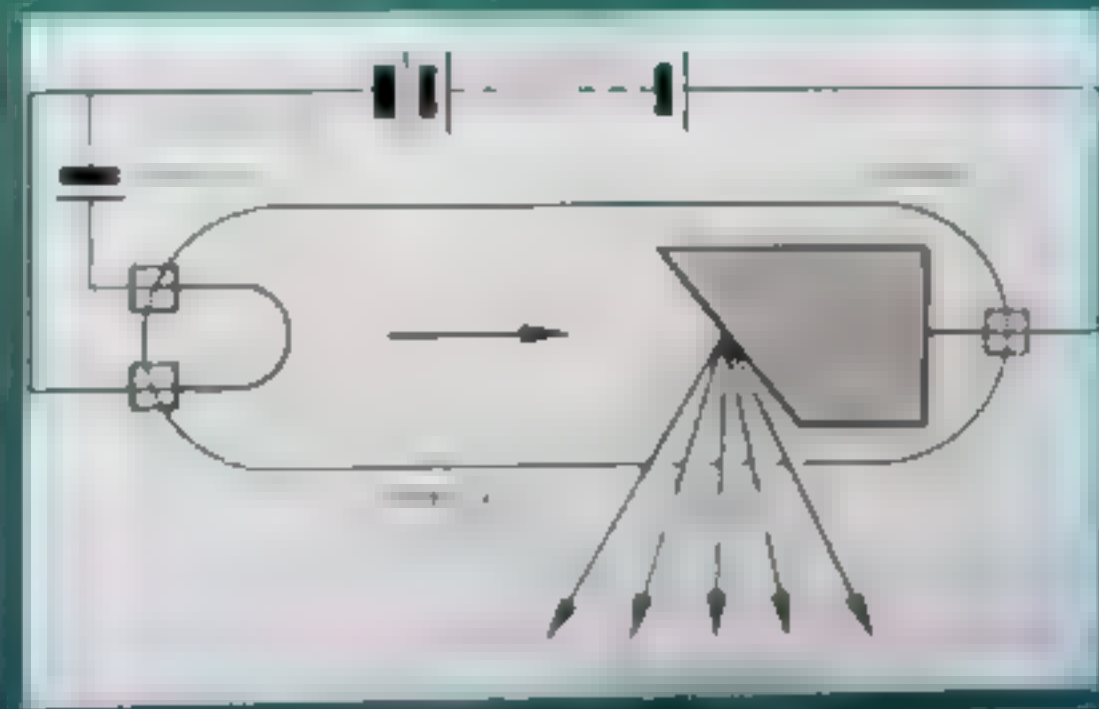
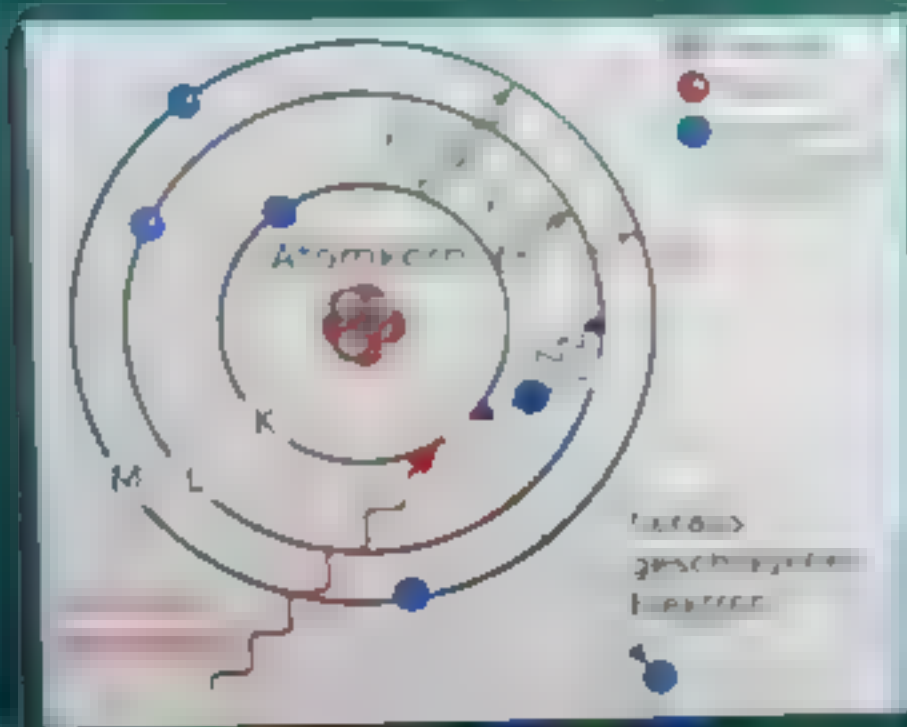
- Strahlung wird abgeschwächt
- Filter: Aluminium oder Kupferfilter absorbieren niederenergetische Strahlung

Warum?

- Um die Strahlenbelastung zu reduzieren (Strahlenschutz)

Charakteristische Strahlung

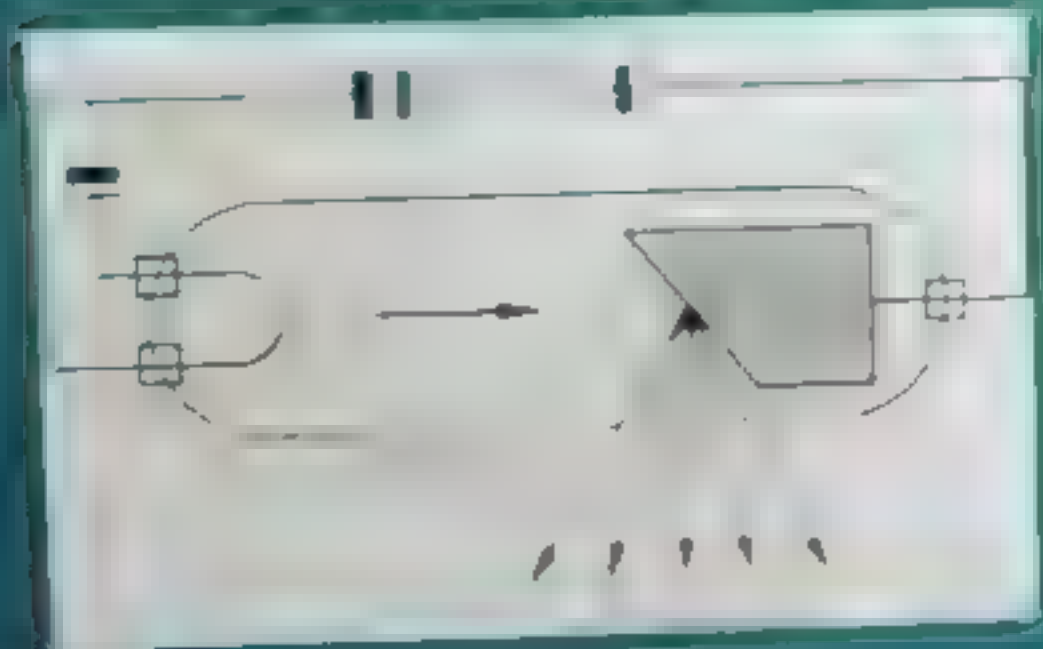
- ▶ Charakteristische Röntgenstrahlung entstehen durch Abbremsen von Elektronen an der Anode in der Röntgenröhre
- ▶ Dabei wird Energie frei (sog. elektromagnetische Wellen)
- ▶ Diese Energie äußert sich als Licht (sog. Röntgenlicht)



Harte Strahlung

Weiche Strahlung

Abhängig von der Röntgenanode unterscheidet man bei der charakteristischen Strahlung harte und weiche Strahlen:



Weiche Strahlung

Externe Reaktionen mit $\lambda < 10^{-8}$ m

→ für Weichestrahlung nimmt die Absorption mit λ^3 zu

→ für kontinuierliche Bremsstrahlung

→ wenig Streustrahlung

→ für ionisierende Strahlung: keine Dosisleistung

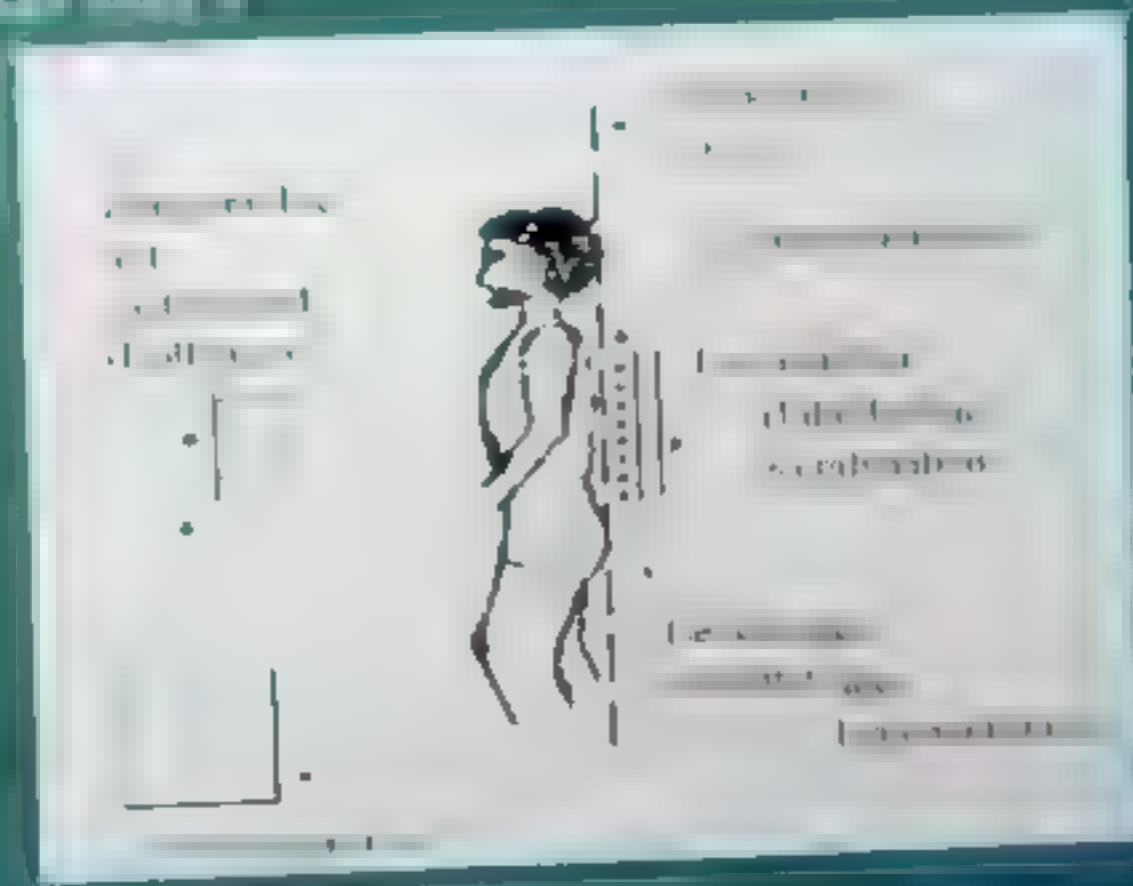
→ keine Strahlenschutzmaßnahmen

Verstärkerfolien (Strahlenschutz)

► Zur Dosisreduzierung benutzt man

► Film-Folien-Kombinationen

► Streustrahlenroster



Harte Strahlung

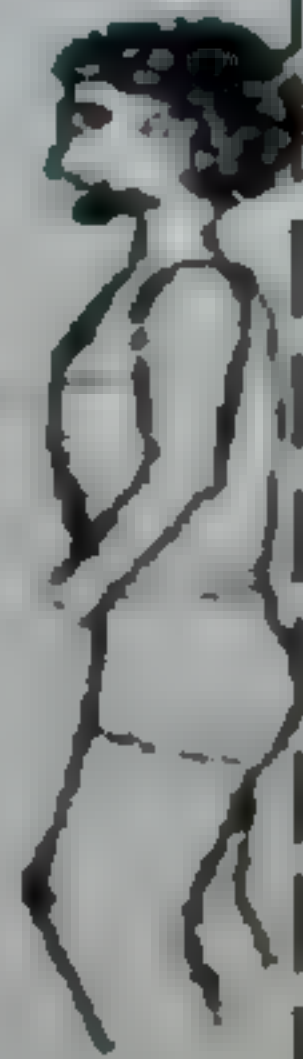
Elektrische Röntgenröhre 100 kV bis 1 MeV

- ▶ wird durch einen elektrischen Strom erwärmt
- ▶ durch die thermische Emission werden Elektronen (e⁻) aus der Kathode herausgeschlagen
- ▶ durch die Beschleunigung der Elektronen durch ein elektrisches Feld wird Röntgenstrahlung erzeugt
- ▶ geringe Strahlendosisleistung im Vergleich zu anderen Strahlungsquellen
- ▶ kürzere Beiradialstrahlung
- ▶ viel Streustrahlung

Röntgenröhre
mit
Tiefenbrenn-
schalter



Röntgenapparat



Röntgen-
tisch

Strahlenschutz

Röntgen-
film
(Film-Folien-
Kombination)

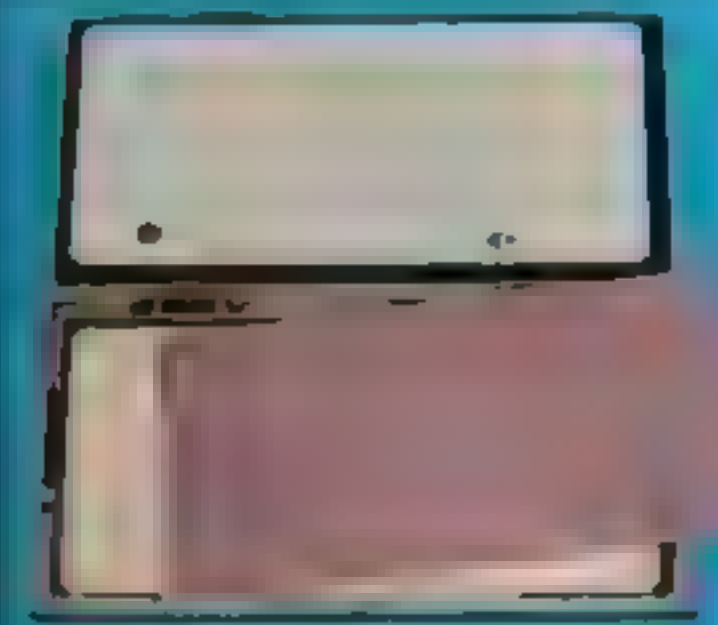
Belichtungs-
zeit
Lichtschirm

Film-Folien-Kombinationen

55

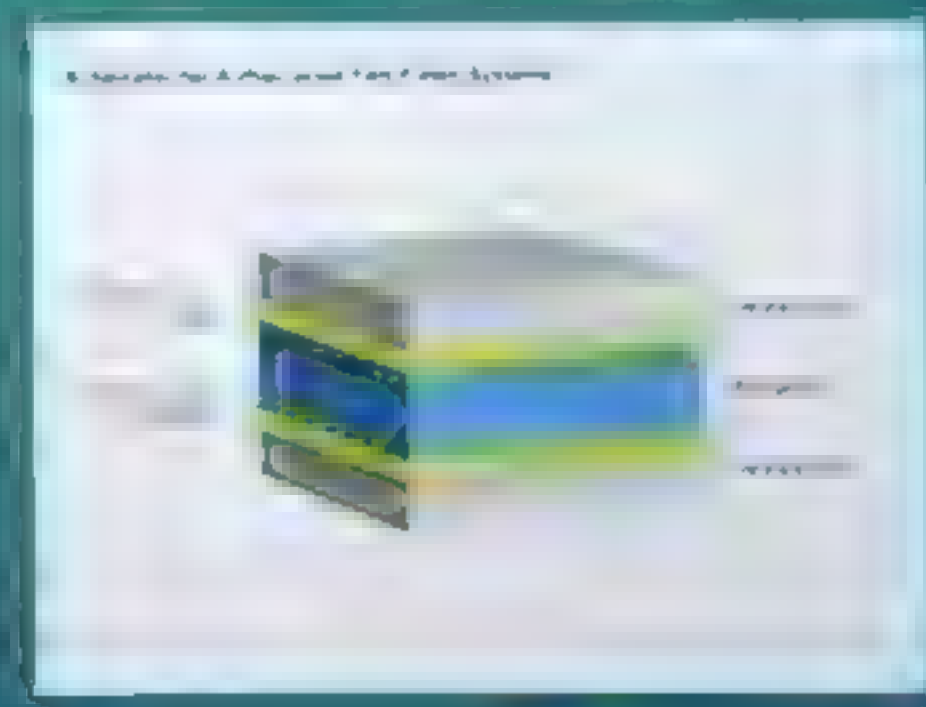
- Sinn: Sichtbarmachung von Körperstrukturen
- Besteht aus: Röntgenfilm + Intensifying-Folien + Schutzfolien

Röntgenfilm enthält
lichtempfindliche
Silberbromidkristalle



Intensifying-Folien beschleunigen meist
die Entwicklung des Röntgenfilms

Intensifying-Folien bestehen aus

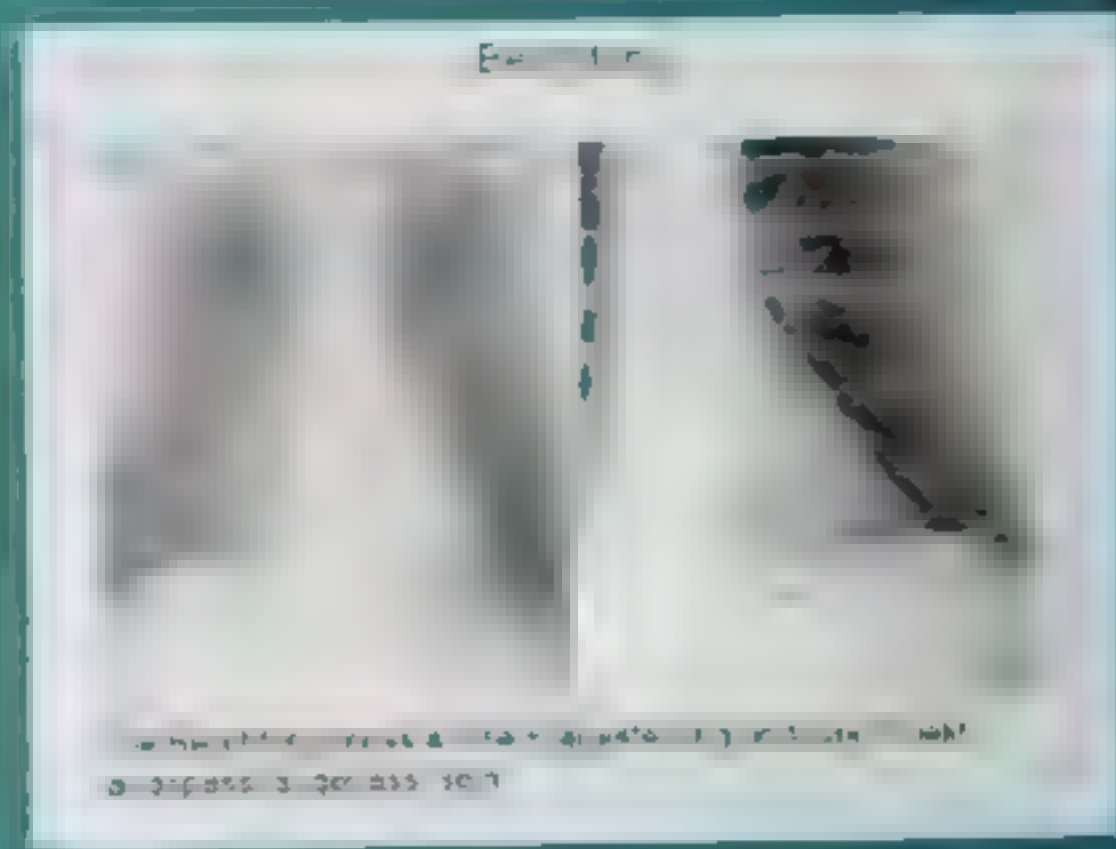


MedDox - Die Lösung für die Kardiographie
1/9/20

Belichtungsparameter beim Röntgen

56

- ▶ Röhrenspannung in kV
- ▶ Röhrenstrom in mA
- ▶ Belichtungszeit in Sekunden



Strahlendosis beim Röntgen = Röhrenspannung \times Röhrenstrom \times Belichtungszeit



Röntgenstrahlung wird im Gewebe geschwächt

58

Die Schwächung abhängt von

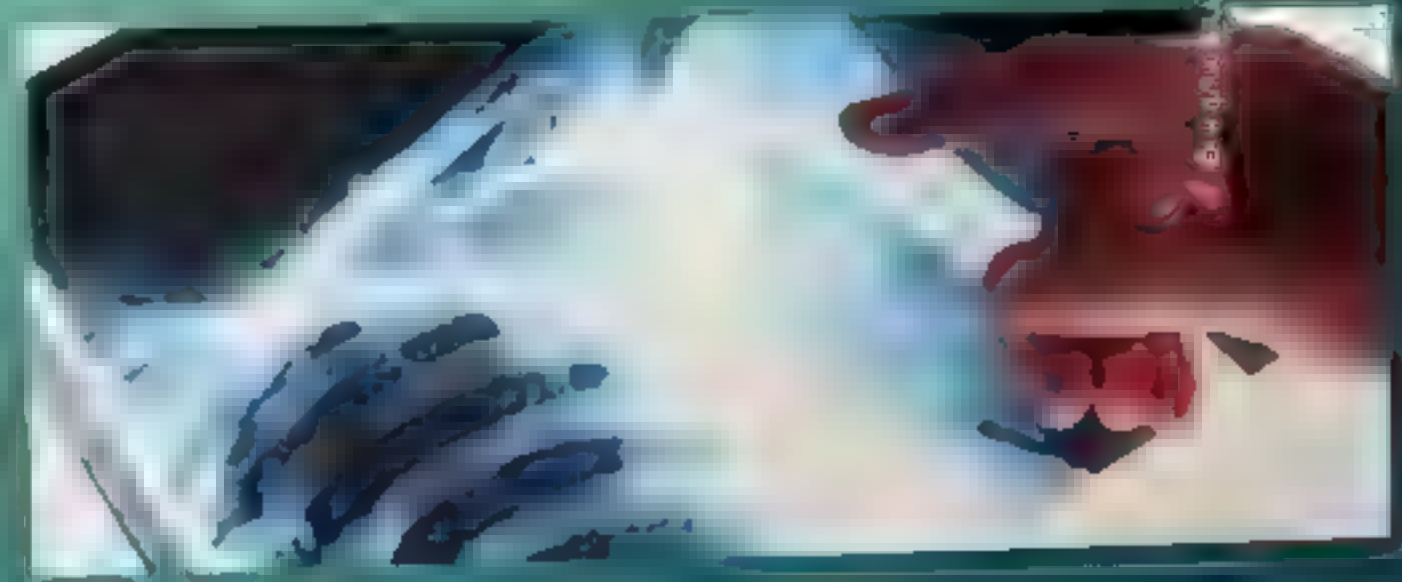
1. Dicke, Dichte und Ordnungszahl
des Gewebes

2. Strahlenqualität

je weniger die Strahlung
geschwächt/absorbiert wird

→ desto stärker die Schwärzung

(hart oder weich)



Was bedeutet: „Röntgenbilder sind Negativbilder?“

- ▶ geringe Filmschwärzung
 - Erscheint **hell**
 - **Verschattung**
- ▶ hohe Filmschwärzung
 - Erscheint **dunkel**
 - **Aufhellung**



Was ist „Kontrast“ beim Röntgenbild?

60

- ▶ Die Differenz von kleinster und größter Schwärzung auf dem Röntgenfilm!
- ▶ Der Kontrast ist abhängig von:
 - ▶ Absorption
 - ▶ Strahlenqualität
 - ▶ Streustrahlung

Ursachen für „Unschärfe“ auf einem Röntgenbild?

- ▶ Bewegung während der Röntgenaufnahme
- ▶ Zu lange Belichtungszeit
- ▶ Falsche Lagerung
- ▶ Streustrahlung

Kann vermieden werden durch:

- Kurze Belichtungszeit
- Optimale Lagerung
- Streustrahlenraster

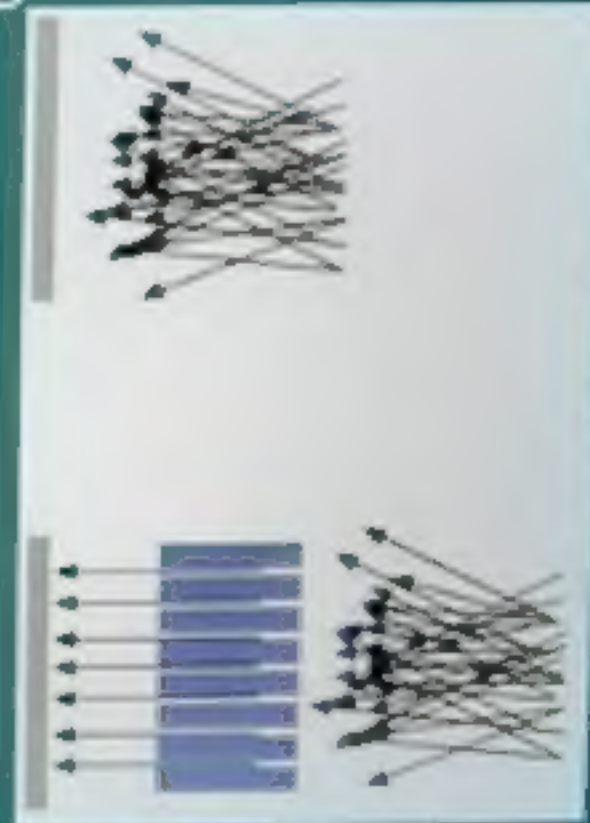
Streustrahlung & Streustrahlenraster:

62

- dünne, parallel zum Strahlenbündel verlaufende Bleilamellen
- zwischen Patient und Film angebracht

Effekt:

- sie erhöhen den Bildkontrast
- aber:
 - sie absorbieren einen Teil der Nutzstrahlung
 - deshalb ist eine längere Belichtungszeit erforderlich
 - höhere Strahlenexposition



MedDocco - Strahlenschutz für die Kerntechnik
17.01.20